

バンチング効果を用いたマルチアクセスシステムにおける 自律分散チャネル割当方式に関する研究

A Study on Autonomous Channel Assignment for Multi-Access System with Bunching Effect

曾根 高則義[†], 並木 淳治^{††}, 富永 英義^{†††}

Noriyoshi SONETAKA, Junji NAMIKI and Hideyoshi TOMINAGA

【あらまし】

マルチアクセスシステムにおいて、システムの柔軟性、信頼性の観点から自律分散型のチャネル割当制御が好まれ使用されている。本論文では、一定の輻輳範囲内において参加局がチャネルマップ上で適応的且つダイナミックに集団をつくる“バンチング効果”特性を有する自律分散型のチャネル割当方式を提案し、その特性の考察と評価を行う。

1 まえがき

共通の周波資源を安価に使用するアクセス通信方式の一つとしてランダムアクセスが提案され、実用化されている。代表的なアクセス通信方式としては“アロハ方式”や“スロットアロハ方式”[1][2]が一般的に知られている。通常、これらのアクセス通信方式は経済性を鑑みて分散処理で行われるため、チャネル制御もそれぞれのアクセス局で行わなければならない。この場合において各アクセス局は全チャネルに対して均等に割当できるようにシステム化されているのが一般的である。

しかしながら、このような制御に於いては、全アクセス（送信）局のデータ量の変化がそのままパケットの衝突や遅延量の変化となって表れ、各局のデータ量が減少したときには、その回線利用者が期待する特性に対して過剰品質となる場合もある。また、 $1/e$ ($=0.36$) を超える様なスループットを得るためには、同一チャネルを独立な複数局がアクセスすることはできない。 $1/e$ を超える様な大負荷を有する局は、任意のチャネルを排他的に専有する必要があるが生じる。

このようなシステムにおけるチャネル制御は、従来の平均拡散形に代わる別なアクセス方式が要求される。

本論文では、共著者の一人である並木が提案している[3]“バンチング効果”の特性を取り入れ、保留時間の長い回線交換的信号を送信する局、あるいは大負荷を有する局がチャネルの一部を排他的に専有でき、且つ微小負荷しか有さない局が、なるべく一定の輻輳範囲内で、適応的に集団を作る“バンチング効果”特

性を有する自律分散チャネル割当方式を提案する。

この“バンチング効果”をチャネル割当に適用するために、①一つのチャネルに一定量以上のトラフィックが集中しない。②システムの全トラフィックの増加に従って適応的にバンチの数を増やす。③各バンチの規模（輻輳度）にばらつきがなく、均等になる。④発生したバンチが安定であること。などの特性が必要となる。

はじめに、バンチング効果を利用したチャネル割当方式のメカニズムとその制御方法について説明する。

次に、バンチング効果によるチャネル割当て制御の理論的考察を行う。

最後に提案方式の有効性の評価をコンピュータシミュレーションによって行い考察を加える。

2 バンチング効果を利用した チャネル割当方式の概要

2.1 考察するチャネル割り当てのモデルとバンチング発生メカニズム

《考察するチャネル割り当ての基本モデル》

本論文のモデルとするチャネル割当の方式は、特に周波数分割方式あるいは時分割方式を対象に論ずる。

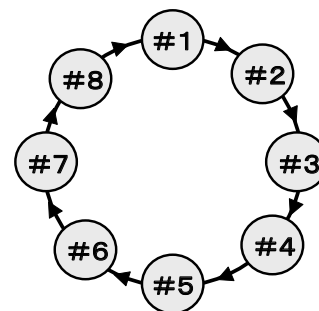


Figure1 Channel Assignment
(Circular Shift) Model

図1 円循環チャネルモデル

物理的な距離や隣接関係とは無関係にチャネル間に論理的に順番をつけ、さらに最後のチャネルと最初の

[†] 国際情報通信研究センター客員研究員
^{††} 東海大学情報理工学部教授

^{†††} 国際情報通信研究科教授

チャンネルが論理的に隣接するような円循環のモデルを想定する。図1は対象とするモデルの一例でチャンネルを8つに分けた場合を示す。チャンネルの変更は、この円循環に沿ってのみ行えるものとする。複数で構成される基地局は、同じ送信データ量を有しており、アクセスするチャンネルは一定フレーム毎に円循環に沿って順次変化させていく。全基地局が正しく（同期して、あるいは規則的に）チャンネル・シフトを行っても、各チャンネルへの分布は変化しないとする。また、チャンネル・シフトは各基地局が一斉に行うのではなく、チャンネルの輻輳度 G が増加するに従って、チャンネル・シフトの確率が低くなるような制御を行う。

《バンチング発生メカニズム》

図2 (1) の y 軸はチャンネル・シフトを起こさせる確率（チャンネル遷移確率） P_S を、 x 軸はチャンネル輻輳度 G を表しており、チャンネル輻輳度 $G = G_0$ のとき、チャンネル遷移確率 $P_S = 0$ となっている。このような状況で各局が確率的にチャンネル・シフトを行うと、あるチャンネル $\#i$ には一時的により多くの局が収容される瞬間が発生する。このため、そのチャンネル輻輳度 G が上がり、チャンネル遷移確率 P_S が下がる。従ってそのチャンネル内の局は、より長い時間このチャンネルに停留することになる。それとは逆に、他のチャンネルは収容数が減少して G が下がり P_S が上がる。そして次々に円循環に沿って1周し、先の $\#i$ チャンネル内に入ってくることになる。この結果、 $\#i$ チャンネルの G は増々上がり、 P_S は増々下がる。そして、ついには図3 (1) のように i チャンネルに全局が集中（バンチング）する結果となる。

次に図2 (1) の $P_S - G$ 曲線を図2 (2) のように変更してみる。すなわち、 $G > G_0$ で $P_S = 0$ とするのではなく、再び $P_S \neq 0$ とする訳である。このようにすることにより、一つのチャンネルに限りなく多くのトラヒックが集中することを回避できる。この場合、輻輳度が G_0 を超えると再び上昇してチャンネル・シフトが頻繁に発生するようになり、一定の局数以上の集中は発生しなくなる。

図2 (2) のような $P_S - G$ 曲線を用いた場合の最終

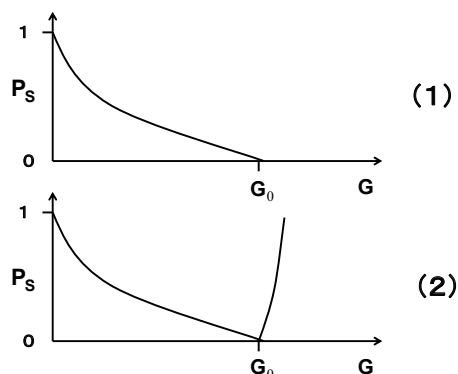


Figure2 Probability of Channel Shift P_S vs Level of Traffic Congestion G

図2 チャンネル輻輳度 G とチャンネル遷移確率 P_S

的な局の分布を示したのが図3 (2)であり、 $\#1, 3, 6, 7$ の4チャンネルに同数の局が分散して集団（バンチング）を作っている。これは非常に好ましい結果になっているが、実際には $\#6$ のチャンネルに集中すべき局が、図3 (3)に示すように $\#2$ と $\#6$ とに分離して存在するようなことが起こると、チャンネル制御の面からは好ましくない結果である。

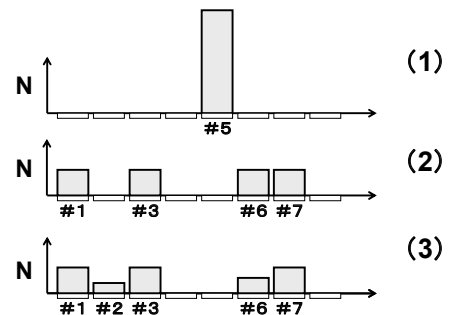


Figure3 Result of the Bunching Effect

図3 バンチング効果の結果例

《チャンネル割り当て方式の装置構成》

本チャンネル割り当て方式の送信装置の構成図（ブロック図）を図4に示す。

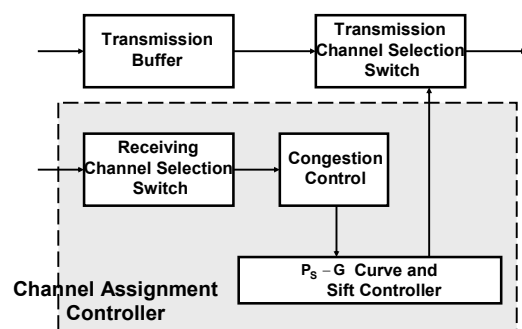


Figure4 Block Diagram of Channel Assignment system

図4 チャンネル割当方式の送信装置の構成図

送信データは送信用バッファに一時的に記憶され、別途推定された $\#i$ チャンネルが回ってきた時に送信される。受信側チャンネル選択回路は現在自局が属しているチャンネルの信号を選び出すものであり、この出力を基に輻輳度検出器がそのチャンネルの輻輳度 $G_{\#i}$ を検出する。得られた $G_{\#i}$ から P_S 曲線をもとに、現在アクセス中のチャンネルをシフトさせるかどうかを確率 P_S で決定する。このチャンネル・シフト命令は送信側チャンネル選択器に与えられ、送信用バッファ内で待機中のデータがその選択器の指示により送信される。

以上のようなチャンネル制御は各基地局がそれぞれ全く独立に分散して制御される。このような単純な制御からバンチングが自然発生するのである。

2.2 チャンネル割り当て制御方法

《大トラフィック局のチャンネル制御》

回線接続的信号源或いは大トラフィック局において呼が発生した場合、先ず全チャンネルの輻輳度 G をモニタリングする。パンチング効果によって発生した空きチャンネルの検出をこのモニタリングで発見し、そのチャンネルを確保するためにチャンネル割り当て制御を行う。もし同一のチャンネルを複数の基地局が同時にアクセスしたとすればチャンネル割り当てに衝突が起こり、使用するキャリアの状態から衝突が発生したことがそれぞれの局で分かる。この場合の解決策の一つとしては、衝突が起こった局ではお互いに独立に発生されるランダム遅延量に従って再発呼し、他の局の再発呼との再びの衝突を避ける。このようなチャンネル制御によってチャンネルを獲得できなかった局は自己の回線要求を“Busy”として一旦解消している。

《大トラフィック局と一般小局が混在している場合のチャンネル制御》

今、大トラフィック局が #3 チャンネルを使用している場合において、他の一般小局が #3 チャンネルにアロハモードでアクセスしても有効な信号伝送は期待できない。一方大トラフィック局の信号が回線交換的信号であるとすれば、#3 チャンネルは完全に排他的に大トラフィック局が使用するべきである。そこで一般小局のチャンネル制御としては、図5に示すように全チャンネルをモニタしつつ、過負荷なチャンネル（回線交換信号、または大トラフィック局がアクセスしているチャンネル）を検出する過負荷チャンネル検出器を設け、検出された # i チャンネルはチャンネル制御時に図6のように円循環から除外する。これにより、アクセス不能なチャンネルへのチャンネル推移を行わないことにより適応チャンネル制御の収束速度も下げられることがなくなり、また大トラフィック局のチャンネル専有が完全な形で実現される。この大トラフィック局の信号が終了し、そのチャンネルのトラフィックが急激にゼロに下がった場合には、輻輳度検出器によってその変化はただちに検出

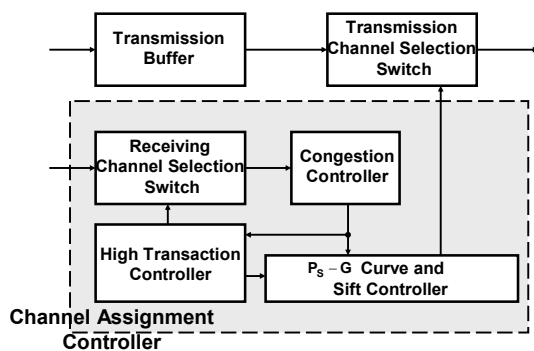


Figure5 Block Diagram of Channel Assignment system with High transaction Controller

図5 大トラフィック局の参加を考慮した場合の送信装置の構成図

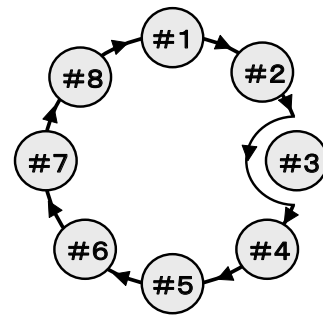


Figure6 Channel Assignment (Circular Shift) Model (Case: with High Traffic cell-station)

図6 大トラフィック局の参加を考慮した場合の円循環チャンネルモデル

され #3 チャンネルはその時点でチャンネル円循環へ戻される。

3

パンチング効果によるチャンネル割り当て制御の理論的考察

前章ではパンチング効果を利用したチャンネル割り当て方式の概要を述べたが、本章では $P_S - G$ 曲線との局の集中現象（パンチング効果）との関係を考察し、チャンネル割り当て制御を理想的に行わせるための $P_S - G$ 曲線のあるべき姿について述べる。

全ての局の平均チャンネル・トラフィックが G とおくと

$$G_{\#i} = n_i \cdot G \quad \dots (1)$$

ここで n_i ; # i チャンネル内に収容されている局数。 $P_S(G_{\#i}) = P_S(n_i \cdot G)$ の曲線と $n_i = G_{\#i}/G$ を重ねて描くと図7のようになる。ここで、 $n_i \cdot P_S$ は # i チャンネルから次の # ($i+1$) チャンネルへ推移していく局数を表している。図7の制御については3.3節で詳細に説明を行う。

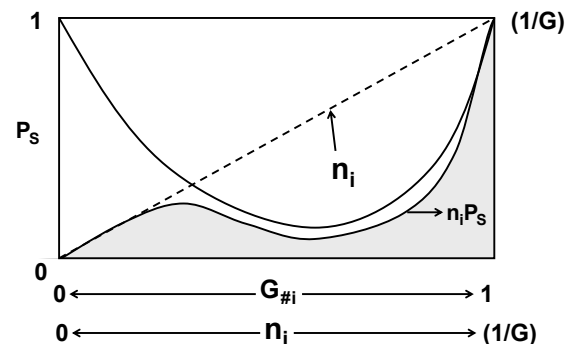


Figure7 Probability of Channel Shift P_S vs Number of cell-station n_i

図7 チャンネル遷移確率 P_S 曲線と遷移する局数の関係

3.1 パンチング領域

今、円循環の中に任意の # i と # j にパンチングが

存在しているとする．この時の#iチャンネル内の局数の増減は以下のように表せる．

$$\frac{dn_i}{dt} = -n_i \cdot P_S(n_i \cdot G) + n_j \cdot P_S(n_j \cdot G) \quad \dots (2)$$

i, j チャンネル以外では $P_S \approx 1$ であるので，# i と j との間の各局の推移は無視し得る遅延で行われると仮定した．

ここで n_i, n_j ともに

$$\frac{\partial n \cdot P_S(n \cdot G)}{\partial n} < 0 \quad \dots (3)$$

を満たす領域に存在したとすると，
 $n_i > n_j$ の時には，

$$n_i \cdot P_S(n_i \cdot G) < n_j \cdot P_S(n_j \cdot G) \quad \dots (4)$$

となり，(2)式は，

$$\frac{dn_i}{dt} > 0 \quad \dots (5)$$

となる．同様に，

$n_i < n_j$ の時には，

$$n_i \cdot P_S(n_i \cdot G) > n_j \cdot P_S(n_j \cdot G) \quad \dots (6)$$

となり，(2)式は

$$\frac{dn_i}{dt} < 0 \quad \dots (7)$$

となる．すなわち，このような状況では大きな n_i の方へより多くの局が集まり，逆に小さな n_j の方にはその数を急激に減少させることが分かる．今この説明では2つのパンチについて論じたが，複数個存在する場合にも，最も大きな n_i だけが残し，他は全てゼロになってしまうのである．これより(3)式が満たされている領域は発振的領域であると言うことができ，安定な複数チャンネルの併存はできない．以下(3)式の領域をバンチング領域と呼ぶことにする．

3.2 安定領域

先の(2)式について，今度は

$$\frac{\partial n \cdot P_S(n \cdot G)}{\partial n} > 0 \quad \dots (8)$$

なる領域を考えると，(4)式と(6)式との不等号が逆転して以下ようになる．

$n_i > n_j$ の時，

$$\frac{dn_i}{dt} < 0 \quad \dots (9)$$

$n_i < n_j$ の時

$$\frac{dn_i}{dt} > 0 \quad \dots (10)$$

これより分かるように，この領域は大なる n_i が減少して，小なる n_j が増大し，最終的には，

$$n_i = n_j \quad \dots (11)$$

を安定点に有する安定制御をもたらすことがわかる．

ちなみに(2)式は図8のようなシングルフローグラ

フで表せる．そこで， $P_S(n_i \cdot G)$ ， $P_S(n_j \cdot G)$ を各々正の定数 P_i ， P_j で置き換えると（もちろん，先の(8)式を満たしている）線形系に対する安定判別が利用できる．この場合，系の特性方程式の根が全て負であることから，安定な2次系であることが分かる．よって，(8)式を満たす領域を今後安定領域と呼ぶことにする．

ある特定のチャンネルへの多くの局を集中させるためには先のバンチング領域の存在が必要であったが，一旦できた複数のパンチを維持し，しかもほぼ同数にそろえる役割を果たしているのは，この安定領域である．しかもこの時の $P_S(n_i \cdot G)$ 特性は，

$$\frac{\partial \cdot P_S(n \cdot G)}{\partial n} \geq 0 \quad \dots (12)$$

なるバンチングに必要とされる特性の逆極特性なのである．上記特性を利用することにより， $P_S(n_i \cdot G)$ を(12)式を満たす平凡なものを用いて，全チャンネルのチャンネル・トラフィックを均等化させることができる．

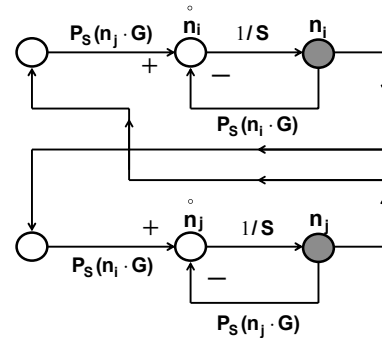


Figure8 Single Flow Graph

図8 2つのパンチに対するチャンネル制御

図9は，全局数が100局で10チャンネル使用でき， $G=0.01$ の場合のシミュレーション結果である．y軸に制御回数Tを，x軸にチャンネル数を，z軸にチャンネル割り当てされた局数で表している．これより制御回数が400回までは#3，6，9チャンネルの3チャンネル

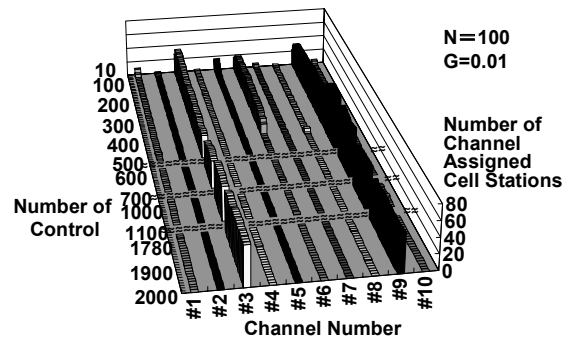


Figure9 Simulation of Channel Assignment Using Bunching Effect

図9 バンチング効果を適用したチャンネル割当シミュレーション結果 ($G=0.01$)

がバンチされているが、最終的には# 3, 9の2つにバンチされ、その後安定的に収束して# 3と9は同じ大きさに向かって安定的に収束していく様子がよくわかる。

なお、この平衡化の収束速度は $\frac{\partial \cdot n \cdot P_S(n \cdot G)}{\partial n}$ の値に関係することは明らかで、大きくなるほど速くなる。

3.3 望ましい $n \cdot P(n \cdot G)$ 特性

バンチング・ランダム・アクセスのチャンネル制御として望ましいのは、巨大なバンチを一つ作るのではなく、決められた規模の複数のバンチを併存させることである。

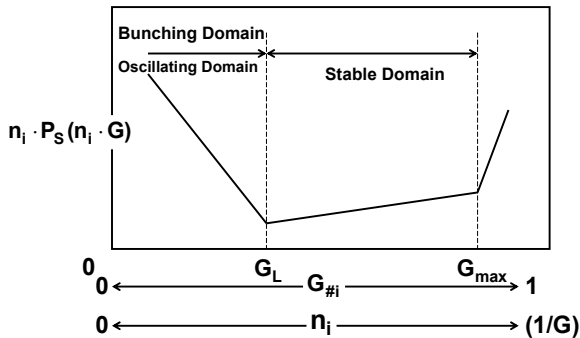


Figure10 Desire $n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)$ Characteristics

図10 望ましい $n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)$ 特性

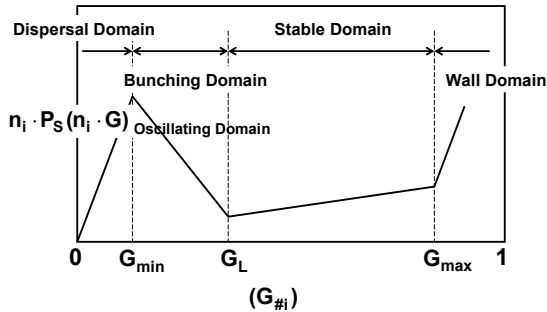


Figure11 $n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)$ Characteristics and 4th Domain

図11 実現可能な $n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)$ 特性

このような要求を満たすには以下のような $n \cdot P(n \cdot G)$ 特性が必要であることが、前章までの議論で分かる。図10より、全ての局はチャンネル・トラフィックの和が G_L になるまでは一つのチャンネルにバンチングされ、以後そのようなチャンネルが複数個存在したとすれば、各バンチの制御は安定領域に移るため、それらの併存は可能である。

ところで、図10では $G_{\#} \approx 0$ ($n_i \approx 0$) の領域までバンチング領域になっているが、図7より分かるように $n \cdot P_S(n \cdot S)$ 特性が $n \approx 0$ で非ゼロには成り立たない。よって実際には以下のような形となる。図11より $G_{\#} \approx 0$ の領域は安定領域と同一の特性を有している。この領域を先の安定領域と区別する意味で分散

(dispersal) 領域と呼ぶことにする。従って、参加全局が微少トラフィック局で各チャンネルごとの平均トラフィック $G_{\#i}$ が G_{\min} 以下である場合にはバンチングは発生しない。ただし、 G_{\min} は事実上、問題にならない程度に小さくすることができる。この G_{\min} を以降、バンチング発生トラフィックと呼ぶことにする。 G_{\max} 以上の領域を以降、壁 (wall) 領域と呼ぶことにする。

3.4 異領域にまたがるバンチ対の振舞い

3.1~3.2では同一領域内 (たとえばバンチング領域、安定領域、分散領域、壁領域など) での2つのバンチについての振舞いを考察した。ここでは新バンチの発生やバンチの消滅に関する異領域にまたがるバンチ対の振舞いを考察してみる。

3.4.1 Dispersal 領域と壁領域

一つのバンチが発生した後、外部から加えられるトラフィックが増大していくと、そのバンチは図11のようにバンチング領域を下って安定領域に入り、そして壁領域に到達する。ここでは、先ず先行しているバンチ (n_j 局を集めている) が、壁領域に存在している場合、バンチの芽 (n_i 局を収容) が分散領域に入ってきた状況から考察してみる。

先ず、いかなる場合においても、先の (2) 式において、

$$n_i \cdot P_S(n_i \cdot G) = n_j \cdot P_S(n_j \cdot G) \quad \dots (13)$$

が成立すれば (2) 式より $n_i = 0$ となる。ただし、この状態が安定点であるか saddle point であるかを検討してみる。(2) 式を n_i を偏微分すると

$$\frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} = -\frac{\partial n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)}{\partial n_i} + \frac{\partial n_j \cdot P_S(n_j \cdot G)}{\partial n_j} \cdot \frac{\partial n_j}{\partial n_i} \quad \dots (14)$$

ここで n_i は以降共通に小さい方のバンチが収容している局数とする。

$$n_j = \text{const} - n_i \quad \dots (15)$$

(const = 総トラフィック)

であるので上 (14) 式は、

$$\frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} = -\frac{\partial n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)}{\partial n_i} + \frac{\partial n_j \cdot P_S(n_j \cdot G)}{\partial n_j} \quad \dots (16)$$

となる。ここで $\dot{n}_i = 0$ が安定点である条件は

$$\frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} < 0 \quad \dots (17)$$

である。上 (16) 式右辺第1項は dispersal 領域、第2項は壁領域に対する偏微分であるので、その極性はともに正であるので (17) 式を満たす。よって、 n_i を増加させると、 \dot{n}_i が減少することを示し、(13) 式と

$$n_i + n_j = \text{const} \quad \dots (18)$$

をともに満たす状態のみが安定に継続することがわかる。平衡状態の実例を図12に各々示す。図中 (A), (B), (C) の順に $n_i + n_j$ は増大している。

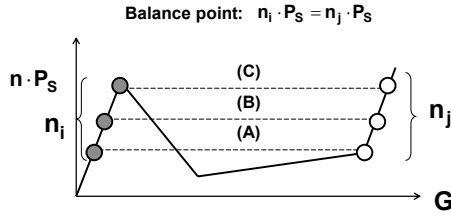


Figure12 Real Example of Balanced Condition
(Case of Dispersal Domain And Wall Domain)

図12 Dispersal 領域と壁領域でのパンチ対の平衡

3.4.2 バンチング領域と壁領域

この場合の \dot{n}_i の n_i 増減による変化は、先の(16)式と $n \cdot P_S$ 曲線の傾斜から

$$\frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} = \left| \frac{\partial n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)}{\partial n_i} \right| - \left| \frac{\partial n_j \cdot P_S(n_j \cdot G)}{\partial n_j} \right| \quad \dots (19)$$

上式で |第1項| < |第2項| なら

$(n_i \cdot P_S(n_i \cdot G))$ の傾斜の絶対値がバンチング領域より壁領域の方が大きい場合)

$$\frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} < 0$$

となり平衡状態であることが分かる。このような平衡状態の実例を図13に各々示す。この図では(C), (D), (E)の順で $n_i + n_j$ は増大している。注目すべきは図12と異なり、 n_i の増加に従って n_j は減少している点である。

3.4.3 バンチング領域と安定領域

バンチング領域と安定領域とでは $n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)$ 曲線の傾斜が前者の方が大きい。

そこで(19)式右辺は、|第1項| > |第2項| となり

$$\frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} > 0 \quad \dots (20)$$

となり、平衡状態は存在しないことになる。

本節の状態に置かれる初期状態としては2つの状態が考えられる。以下、各々の場合に付いて、パンチ対の振舞いを明示する。

① 図13の(E)の状態からの移行

(E)では $\dot{n}_i = 0$ を満たしているので安定。この状態から n_i が何らかの理由で減少してもその分だけ n_i が増加し、状態としては3.4.2の状態に留まり安定である。一方 n_i が一旦増加すると、

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \dot{n}_i}{\partial n_i} = \left| \frac{\partial n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)}{\partial n_i} \right| - \left| \frac{\partial n_j \cdot P_S(n_j \cdot G)}{\partial n_j} \right| \\ \left| \frac{\partial n_i \cdot P_S(n_i \cdot G)}{\partial n_i} \right| > \left| \frac{\partial n_j \cdot P_S(n_j \cdot G)}{\partial n_j} \right| \end{array} \right.$$

より n_i は急激に増加し続け図14(1)～(3)のように2つのパンチが安定領域の中へ入るまで、この増加は続く。

しかし、この不安定的状況はここで終わる。図14(4)

は安定領域内の2つのパンチの振舞いであるので、になるように安定的に制御され、そこで静止する。

② 図14(4)からの移行

$n_i = n_j$ で安定している2つのパンチは、そのチャンネル・トラフィックの増減に従って右左へ移動するわけであるが、トラフィックがどんどん減少していくと遂には図15(1)のような位置までくる。ここではまだ $n_i = n_j$ であり $\dot{n}_i = 0$ である。ただし、一旦と $n_i \neq n_j$ になると、(小さい方を n_i と考えると)、この地点が saddle point であるので図15(1)～(3)のように一気に n_i は減少していく。

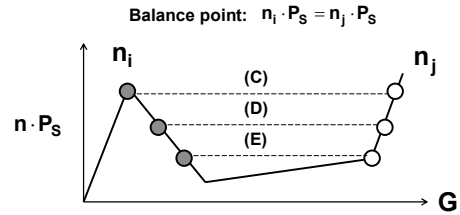


Figure13 Real Example of Balanced Condition
(Case of Bunching Domain And Wall Domain)

図13 バンチング領域と壁領域でのパンチ対平衡

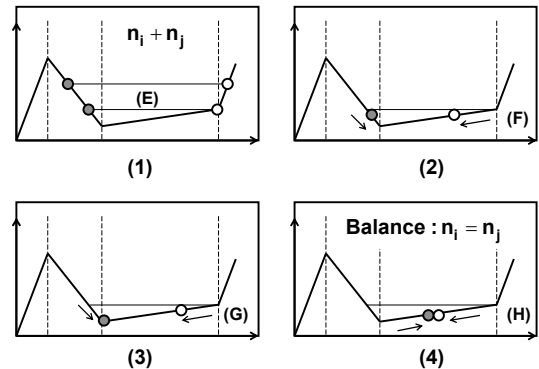


Figure14 bunching and Stable Domain Behaviour (1)

図14 バンチング領域と安定領域でのパンチ対平衡 (その1)

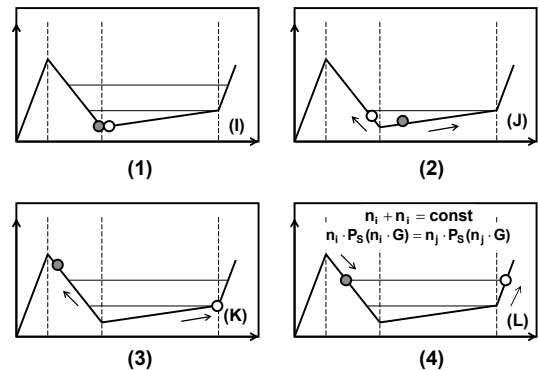


Figure15 bunching and Stable Domain Behaviour (2)

図15 バンチング領域と安定領域でのパンチ対平衡 (その2)

ただし、この急激な変化も(3)の状態Kまでである。この状態は先の3.4.2で考察した場合であり、 $n_i + n_j = \text{const}$, $n_i \cdot P_S(n_i \cdot G) = n_j \cdot P_S(n_j \cdot G)$ を安定点に持つ平衡状態が存在する。そこで(3)式から引き続いて(4)のように変化し、上記平衡点で静止する。

3.5 チャンネル・トラフィックの変化とバンチの振舞い

前節までの考察より、チャンネル・トラフィックの増減に従ってのバンチの振舞いを示すことが分かる。

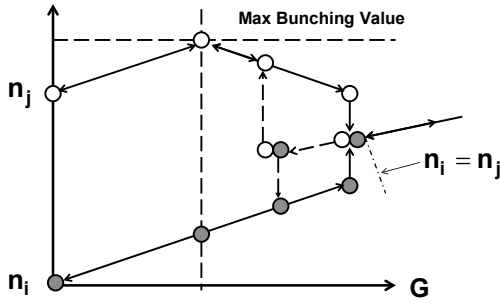


Figure16 Relation of Bunching Behaviour And Channel Traffic

図16 チャンネルトラフィック増減とバンチ対の姿態

図16にその振る舞いを示す。一度安定領域の中にできたバンチ群は多少の外部トラフィックの減少に対しても、引き続き同じ形態で存続し続け、あるバンチが安定領域を出入りする時には、図示されたようなヒステリシスを通過する非常に興味深い事実を示している。これにより、同一のチャンネル・トラフィックに対し異なるバンチの形態間を行き来する振動的動作が存在しないことがわかる。次に一つのバンチに収容される最大トラフィックは、図12の(C)の“○”に対応する値で、それ以上大きなトラフィックは現れないことが分かる。この最大のトラフィックは、図2の P_S 曲線の G_0 によって制御可能であることも分かる。 P_S 曲線は G_0 以上では急激に上昇させているので、

$$\text{最大トラフィック} \approx G_0 \approx G_{\max}$$

となる。

4 チャンネル遷移確率 P_S 曲線の具現化とシミュレーション結果

チャンネル制御を有効に行うためにはバンチング効果より、むしろ安定領域による動作が重要であることを3.3で述べた。すなわち図10に示した望ましい $n \cdot P_S(n \cdot S)$ 特性からも分かるように $d \cdot n \cdot P_S(n \cdot S) / dn$ が正の領域を用意し(図では $G_L \sim G_{\max}$ 間)で、しかも複数のバンチにより安定に存在させるためには、 $P_S(n \cdot S)$ を一定値以下に抑える必要があった。よって安定領域として、

$$0 < \frac{\partial n \cdot P_S(n \cdot G)}{\partial n} \leq P_0 \quad \dots (21)$$

なる領域を、ある程度広くする必要がある。

$$P_S \text{ として、 } P_S(n, G) = P_0 \quad \dots (22)$$

を上式に代入すれば、これを満たすことが分かる。よって、広い安定領域を得るためには、ある一定のチャンネル・トラフィックの範囲でチャンネル遷移確率 P_S を(22)式のように一定値にすることが有効であることが分かる。すなわち、 P_S の形としては単純なV字型でなく、図17のようなU字型が望ましい。

(14)式の他に、比較的簡単な曲線としては、

$$P_S(n \cdot G) = P'_0 \cdot n \leq P_0 \quad \dots (23)$$

のような(23)式を考えても(21)式を満たすので、一つの望ましい P_S 曲線であることがわかる。

全体の P_S 曲線を図17(b)に示す。

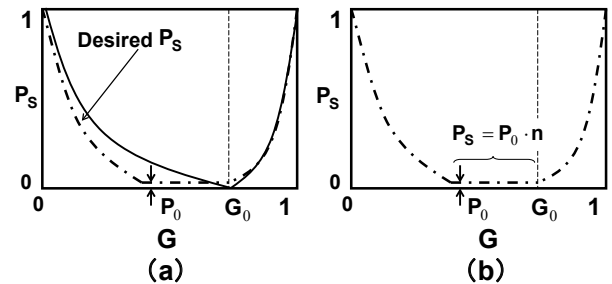


Figure17 Desired P_S Curve

図17 望ましいチャンネル遷移確率 P_S 曲線

P_S の形状としては、

$$\begin{cases} nG < G_0 \text{ に対し } \frac{\partial P_S(n \cdot G)}{\partial n} \leq 0 \\ nG \geq G_0 \text{ に対し } \frac{\partial P_S(n \cdot G)}{\partial n} > 0 \end{cases}$$

であればよいので様々なものが考えられる。ただし、

$$P_S(n \cdot G) \propto \frac{1}{1+n} \quad \dots (24)$$

のようなものを考えると

$$\frac{\partial n \cdot P_S(n \cdot G)}{\partial n} > 0 \quad \dots (25)$$

となり、バンチング領域が現れないので注意が必要があり、このタイプの関数としては、

$$P_S \propto \left(\frac{1}{1+n} \right)^N ; N > 1 \quad \dots (26)$$

なる形が要求される。別な形として、

$$P_S \propto (1 - \alpha \cdot n)^N ; \alpha n \leq 1 \quad \dots (27)$$

が考えられる。この場合には $N=1$ でもよい。

以上の2つの点を考慮して以下のような関数を提

案してみる。

$G_{\#i}$; i チャンネルの平均チャンネル・トラフィック

$G_{\#i} \leq G_0$ の時

$$P_s = \text{Min} \left[\left\{ (G_0 - G_{\#i}) / G_0 \right\}^{N_p} + P_0, 1 \right] \quad \cdots (28)$$

$G_{\#i} > G_0$ の時

$$P_s = \text{Min} \left[\left\{ (G_{\#i} - G_0) / (L - G_0) \right\}^{1-2} + P_0, 1 \right] \quad \cdots (29)$$

$G_0 = 0.6$, $P_0 = 0.001$ とした時, N_p を変えた時に G_{\min} (パンチング発生トラフィック) および G_L (発振/安定境界値) がどのように変化するかを示したのが図18である. 各チャンネルに均等に $G_{\#i}$ トラフィックが分散している状態を初期状態とすると, これにパンチング効果を期待するためには N_p を変化させて $G_{\#i}$ を“領域2”の中へ設定する必要がある.

ここで2つのシミュレーション例を示す. 図19には10チャンネルの各チャンネルに $G = 0.05$ の局が10局ずつ存在する状態 ($G_{\#i} = 0.5$; $i = 1 \sim 10$) を初期値として $N_p = 5$ と10とでチャンネル制御を行った場合である.

$N_p = 10$ の場合, $G_{\#i} = 0.5$ は明らかに“領域3”に属しているため, パンチングは起こらず, 均等化制御が行われていることを示している. 逆に $N_p = 5$ の場合, $G_{\#i} = 0.5$ は“領域3”と“領域2”との境界に接

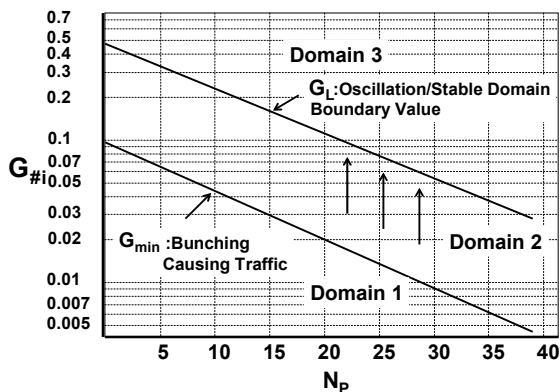


Figure18 Bunching Behaviour

図18 P_s の N_p パラメータとパンチング領域の変化

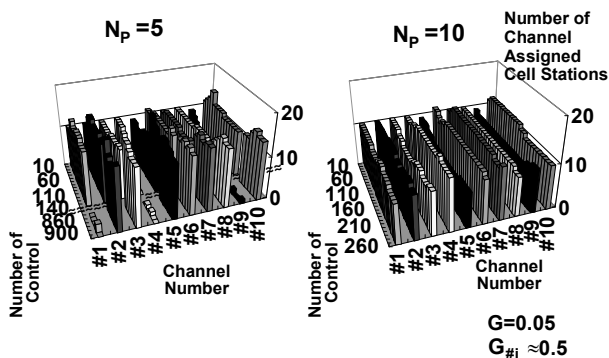


Figure19 Simulation of Channel Assignment (Case: $G=0.05$, $G_{\#i} \approx 0.5$, $N_p=5,10$)

図19 パンチング効果を適用したチャンネル割当シミュレーション結果 ($N_p = 5, 10$)

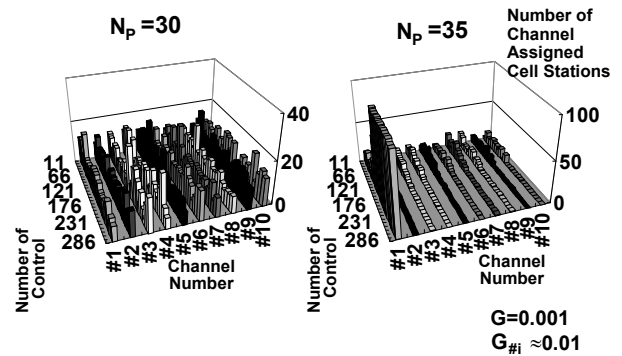


Figure20 Simulation of Channel Assignment (Case: $G=0.001$, $G_{\#i} \approx 0.01$, $N_p=30,35$)

図20 パンチング効果を適用したチャンネル割当シミュレーション結果 ($N_p = 30, 35$)

近してきており, パンチングが発生し, 3つの空きチャンネルを発生させている.

図20は $G = 0.001$ なる軽微なトラフィックに100局が10局ずつ分散している状態を初期状態として $N_p = 30$ と35とでチャンネル制御を行った場合を示している. $N_p = 30$ の場合, $G_{\#i} = 0.001 \times 10 = 0.01$ は“領域1”に属しているため, パンチングは起こらない. $N_p = 35$ の場合, $G_{\#i} = 0.01$ は“領域2”に属するようになり, チャンネル制御によって全局一つのチャンネルに集中していくことがわかる.

以上の考察の結果, 全ての初期状態に有効にパンチング効果を期待するためには, 1チャンネルあたりの平均トラフィック $G_{\#i}$ を予想ないし, 観測して, この値に対応して N_p を変化させ, $G_{\#i}$ を“領域2”の中へ設定するようにすれば完全である. ただし, $N_p = 10$ 程度に固定してしまっても実際の応用には問題ない.

次に各チャンネルにパンチングされるトラフィックの上限を決めるパラメータは(28), (29)式の G_0 である. 図21は $G = 0.01$ の100局を10のチャンネルへ割り振る制御を $G_0 = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ と変化させていった場合の局数の集中度をシミュレーションによりみたものである. このシミュレーションより, 各

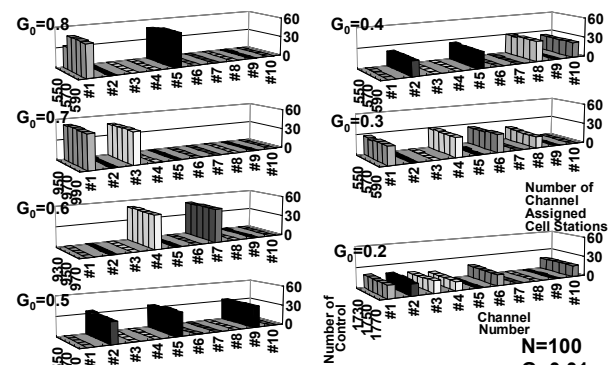


Figure21 Simulation of Channel Assignment (Case: $G=0.01$, $G_{\#i} \approx 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2$)

図21 パンチング効果を適用したチャンネル割当シミュレーション結果 ($G_0 = 0.2 \rightarrow 0.8$)

チャネルは G_0 を収容トラフィックの上限として、より多くの局を取り込んでいくことから、 G_0 が大きくなるに従って空きチャネル数が増加していくことが分かる。

5 まとめ

保留時間の長い回線交換的信号を送信する局、または大トラフィックを有する局に一部チャネルを専有させるため、各小局の簡単な分散制御で自然発生するバンチング効果を利用し、各小局が一定の輻輳度内で数チャネル内に収容され、空きチャネルを作るような自律分散チャネル割当方式を提案した。

特にランダムアクセス通信方式を採用しているマルチアクセスシステムのチャネル制御において、①一つのチャネルに一定量以上のトラフィックが集中しない。②システムの全トラフィックの増加に従って適応的にバンチの数を増やす。③各バンチの規模（輻輳度）にばらつきがなく、均等になる。④バンチが安定であること。などの条件を提案の方式は満足していることを理論的解析とシミュレーションによって示し、その有効性についても示した。また、本方式では1チャネルに集中させるトラフィックの上限を自由にできる一方、同一の制御カテゴリーで逆に全チャネルへ均等にトラフィックを分散させることも可能であることも示した。

今後は低負荷チャネルがバンチングされた後の通信品質を保つための制御方法や各局のトラフィックが動的に変化する場合のバンチングを発生させるための最適なパラメータの選定方法、チャネル輻輳などのモニタリングなどの制御方法などを更に明らかにしていく。またランダムアクセス通信方式だけでなく、移動通信などへの適用方法[4]と他の方式[5][6]との比較などを通して本方式の有用性を明らかにしていく。更に、実証実験を通してシミュレーション結果との整合性を明らかにしていく。

参考文献

- [1] N. Abramson, "the ALOHA System", Computer-Communication Networks, pp501-517. Prentice Hall, 1973.
- [2] N. Abramson, "The ALOHA SYSTEM-Another alternative for computer commun." AFIPS Conf. Proc. Fall Joint Computer Conf. 37 pp.281-285, 1970
- [3] 並木淳治「バンチング効果による自律分散チャネル割当」信学会・システム部門全大, 1987
- [4] 曾根高則義, 並木淳治「モバイルチャネルアサインの自律制御」電子情報通信学会, CSBN 研究会発表資料, April 2007.
- [5] Noriyoshi. Sonetaka, "First Step In Dynamic Channel Assignment for Personal Handy Phone System", IEICE Tran. Fundamental, VOL.

E84-A pp.1644-1650 No7 July 2001

- [6] Y. FURUYA, Y. AKAIWA, "Channel Segregation, a Distributed Adaptive Channel Allocation Scheme for Mobile Communication System," IEICE TRANSACTIONS on Communication, Vol.74, No6, pp.1531-1537, 1991.